

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

І. Г. Абраменко

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

ДО ВИКОНАННЯ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ З КУРСУ

"ТЕОРІЯ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ"

(для студентів 3 і 4 курсів заочної форми навчання напряму підготовки
6.050701 – «Електротехніка та електротехнології» ((0906) – «Електротехніка»)
спеціальності «Електротехнічні системи електроспоживання»)

**Харків
ХНАМГ
2009**

Методичні вказівки до виконання контрольної роботи з курсу “Теорія автоматичного керування” (для студентів 3 і 4 курсів заочної форми навчання напряму підготовки 6.050701 – «Електротехніка та електротехнології» ((0906) – «Електротехніка») спеціальності “Електротехнічні системи електроспоживання”) / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва.; уклад.: Абраменко І.Г. - Х.: ХНАМГ, 2009. - 22 с.

Укладач: доц., к.т.н. І.Г. Абраменко

Рецензент: доц., к.т.н. П.П. Рожков

Рекомендовано кафедрою “Електропостачання міст”, протокол № 6 від 19.05.2009 р.

ПЕРЕДМОВА

Відповідно до навчального плану спеціальності 6.090.603 “Електротехнічні системи електроспоживання” при вивченні теорії автоматичного керування (ТАК) студенти виконують контрольну роботу, що є заключним етапом вивчення дисципліни.

Мета контрольної роботи - систематизувати, закріпити й розширити знання, отримані на лекціях і практичних заняттях; розвинути здатність до самостійної роботи з технічною літературою; придбати творчі навички при самостійному вирішенні технічних завдань, пов'язаних з різними етапами проектування систем автоматичного керування.

Вихідними даними при виконанні контрольної роботи є принципова схема системи автоматичного керування і параметри її елементів.

У методичних вказівках наведені 50 варіантів завдань. Перелік питань, що підлягають розгляду, для всіх завдань той самий.

Результатом контрольної роботи є розрахунково-пояснювальна записка, в якій повинні бути наведені обґрунтування прийнятих при виконанні розділів роботи рішень, основні результати розрахунків по всіх етапах проектування й висновки по його підсумках. Записка повинна бути оформлена відповідно до вимог стандартів ЕСКД, обсяг її 10-15 сторінок формату А4.

1. Завдання на контрольну роботу

На рис. 1 наведена принципова схема системи автоматичної стабілізації швидкості обертання електродвигуна постійного струму незалежного збудження.

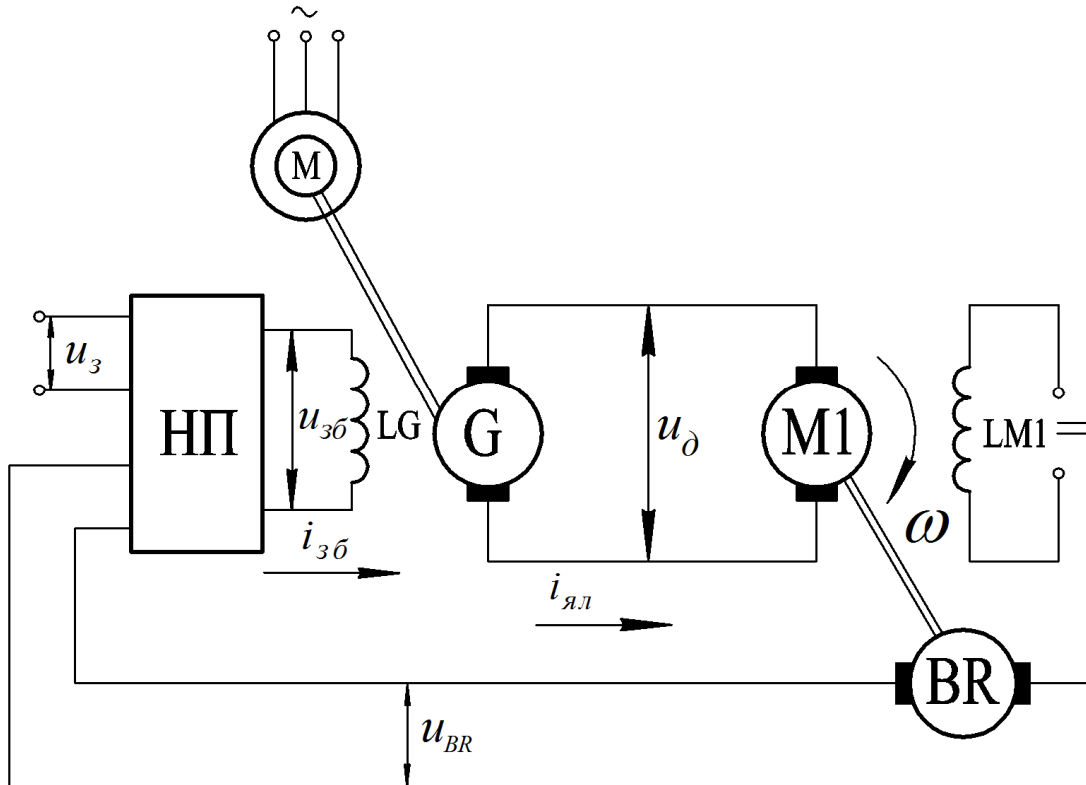


Рис. 1

На схемі прийняті такі позначення: *НП* – напівпровідниковий підсилювач; *G* – генератор постійного струму; *M1* – керований електродвигун постійного струму; *BR* – тахогенератор; *LG*, *LM1* – обмотки збудження, відповідно *G* і *M1*; *M* – асинхронний приводний двигун з короткозамкненим ротором; $i_{зб}$ – струм збудження; $u_{зб}$ – напруга збудження; $i_{ял}$ – струм якірного ланцюга системи генератор-двигун; ω – кругова частота обертання валу двигуна; u_d – напруга на вихідних клеммах генератора; u_z – напруга сигналу завдання; u_{BR} – вихідна напруга тахогенератора.

Чисельні значення параметрів елементів схеми наведені в табл. 1.

Таблиця 1 - Вихідні дані контрольної роботи

№ завдання	Параметри генератора			Параметри електродвигуна				k_{BR}, cB
	$L_{32}, Гн$	$R_{32}, Ом$	$\alpha, град$	$L_{яд}, Гн$	$R_{яд}, Ом$	$J, кгм^2$	$c, Нм/А$	
1	13	26,6	45	0,03	0,29	1,3	0,6	0,00025
2	20	35	47	0,02	0,093	1,1	0,8	0,0003
3	25	43	49	0,025	0,14	3,5	0,9	0,0001
4	40	50	51	0,028	0,224	3,2	0,7	0,0002
5	30	26,6	53	0,03	0,29	1,3	0,6	0,00015
6	15	35	55	0,018	0,093	1	0,7	0,0002
7	18	43	57	0,02	0,14	3,5	0,8	0,00025
8	50	50	59	0,03	0,224	3,2	0,9	0,0003
9	12	26,6	61	0,03	0,29	1,3	0,6	0,00035
10	22	35	63	0,018	0,093	1	0,8	0,00015
11	39	43	65	0,022	0,14	3,5	0,9	0,0002
12	55	50	67	0,03	0,224	4	0,7	0,00025
13	16	26,6	69	0,03	0,29	1,3	0,6	0,0003
14	20	35	71	0,016	0,093	1	0,7	0,00035
15	25	43	73	0,02	0,14	3,5	0,8	0,0004
16	38	50	75	0,023	0,224	4	0,9	0,00015
17	22	26,6	45	0,032	0,29	1,3	0,6	0,0002
18	25	35	47	0,012	0,093	1,1	0,8	0,00025
19	20	43	49	0,02	0,14	3,5	0,9	0,0003
20	60	50	51	0,03	0,224	4	0,7	0,00035
21	31	26,6	53	0,03	0,29	1,3	0,6	0,0004
22	22	35	55	0,012	0,093	1	0,7	0,00015
23	24	43	57	0,016	0,14	3,5	0,8	0,0002
24	65	50	59	0,018	0,224	4	0,9	0,00025
25	35	26,6	61	0,028	0,29	1,3	0,6	0,0003
26	25	50	63	0,028	0,224	1,3	0,6	0,0003
27	40	26,6	65	0,03	0,29	1	0,7	0,00035
28	30	35	67	0,018	0,093	3,5	0,8	0,0004
29	15	43	69	0,02	0,14	3,2	0,9	0,00015
30	18	50	71	0,03	0,224	1,3	0,6	0,0002
31	50	26,6	73	0,03	0,29	1	0,8	0,00025
32	12	35	75	0,018	0,093	3,5	0,9	0,0003
33	22	43	45	0,022	0,14	3,5	0,7	0,00035
34	39	50	47	0,03	0,224	4	0,6	0,0004
35	55	26,6	49	0,03	0,29	1,3	0,7	0,00015
36	16	35	45	0,016	0,29	1,1	0,8	0,0002
37	50	25	47	0,012	0,093	3,5	0,6	0,00025
38	26,6	40	49	0,02	0,14	4	0,8	0,00025
39	35	30	51	0,03	0,224	1,3	0,9	0,0003
40	43	15	53	0,03	0,29	1	0,7	0,00035
41	50	18	55	0,012	0,093	3,5	0,6	0,00015
42	26,6	50	57	0,016	0,14	4	0,7	0,0002
43	35	12	59	0,018	0,224	1,3	0,8	0,00025
44	43	22	61	0,028	0,29	1,3	0,9	0,0003
45	50	39	63	0,02	0,093	1	0,6	0,00035
46	26,6	55	65	0,025	0,14	3,2	0,8	0,0004
47	50	16	67	0,028	0,224	1,3	0,9	0,00015
48	62	20	69	0,03	0,29	1	0,7	0,0002
49	64	25	71	0,018	0,093	3,5	0,6	0,00025
50	88	38	73	0,02	0,093	3,2	0,7	0,0003

Тут: L_{32} , R_{32} - індуктивність і активний опір обмотки збудження генератора; α - кут нахилу дотичної до характеристики холостого ходу в точці рівноваги; $L_{яд}$, $R_{яд}$ - індуктивність і активний опір якорної обмотки електродвигуна; J - момент інерції; $c = k\Phi$; Φ - магнітний потік; $k = \frac{pN}{2\pi a}$ - конструктивний коефіцієнт; k_{BR} - коефіцієнт передачі тахогенератора.

2. Перелік питань, що підлягають розгляду

- 2.1 Дати короткий опис роботи САК за принциповою схемою.
- 2.2. Розділити систему на елементи і скласти функціональну схему САК.
- 2.3. Скласти лінеаризовані диференціальні рівняння для кожного елемента. Одержати вирази для коефіцієнтів передачі й постійних часу.
- 2.4. Скласти передаточні функції для кожного елемента.
- 2.5. Скласти структурну схему САК.
- 2.6. Визначити передатну функцію замкнутої САК по задаючому впливу.
- 2.7. Скориставшись критерієм Гурвіца визначити граничне значення передатного коефіцієнта напівпровідникового підсилювача $k_{НП}$, при якому САК ще стійка.
- 2.8. Побудувати логарифмічні частотні характеристики замкнутої системи за задаючим впливом при $k_{НП}$, обраному посередині діапазону стійкості.
- 2.9. Визначити перехідну характеристику системи по каналу задаючого впливу при $k_{НП}$, обраному посередині діапазону стійкості.
- 2.10. Скласти висновки про виконану роботу.

3. Методичні вказівки по виконанню роботи

3.1. Перш ніж почати виконання розрахункової частини роботи, необхідно чітко усвідомити принцип дії системи. При цьому потрібно мати на увазі, що система побудована за принципом відхилення, виявити особливості функціонування кожного елемента системи при передачі ним керуючого або збуджуючого впливів і на підставі цього дати короткий, але вичерпний опис процесу зменшення відхилення регульованої величини від заданого значення, що виникло під дією зміни керуючого або збуджуючого впливів.

3.2. При вивченні конкретної САК її зручно попередньо формально розділити на окремі елементи, виявити взаємозв'язки між цими елементами й відобразити їх у вигляді функціональної схеми. Функціональною схемою САК називають умовне графічне зображення, що відбиває функції, виконувані окремими елементами системи, і зв'язки між цими елементами.

Частинами функціональної схеми є умовні зображення функціональних елементів, а також зв'язків між ними у вигляді ліній зі стрілками. Стрілки показують напрямок передачі сигналів взаємодії. Функціональні елементи зображують у вигляді прямокутників, усередині яких записують їхню назву.

Для розраховуваної САК доцільно виділити такі функціональні елементи: об'єкт керування - двигун; генератор; регулятор - підсилювач; датчик - тахогенератор.

3.3. Першим етапом розрахункової частини роботи є складання диференціальних рівнянь елементів системи. Загальний порядок складання диференціальних рівнянь полягає в наступному.

Приймаються допущення, що дозволяють спростити розгляд динамічних властивостей ланок і їхній математичний опис.

З урахуванням допущень записують вихідні рівняння, що відбивають фізичні закони, яким підкоряється кожний елемент.

У контрольній роботі розрахунок ведуть з позицій лінійної теорії, тому вихідні рівняння необхідно лінеаризувати. З цією метою для кожної координати розглядаються малі відхилення (збільшення) щодо сталого режиму. В околиці

цих малих відхилень необхідно зробити лінеаризацію наявних нелінійних залежностей шляхом розкладання їх у ряд Тейлора й відкидання членів розкладання, що містять відхилення вище першого порядку. Підставляючи лінеаризовані залежності у вихідні диференціальні рівняння з урахуванням рівнянь статички, одержують лінійні рівняння, справедливі для малих відхилень.

Приводячи ці рівняння до прийнятої в теорії автоматичного керування форми, тобто розташовуючи їх за старшинством похідних, одержують остаточні рівняння, які являють собою вихідні дані для побудови структурної схеми й подальших досліджень системи.

3.4. Передаточною функцією називається відношення вихідної величини до вхідної, перетворених за Лапласом при нульових початкових умовах.

Передаточна функція є самою компактною формою опису властивостей САК або її складових елементів. Вона встановлює зв'язок між вхідною і вихідною величинами як у динамічному, так і у статичному режимах.

Передаточна функція є функцією комплексної змінної $s = \alpha + j\beta$.

Для визначення передаточних функцій елементів системи використати інтегральне перетворення Лапласа рівнянь елементів при нульових початкових умовах:

$$F(s) = L\{f(t)\} = \int_0^{\infty} f(t)e^{-st} dt.$$

3.5. При аналізі САК широке застосування одержали так звані структурні схеми. Під структурною схемою САК мається на увазі умовне графічне зображення математичної моделі системи у вигляді сукупності окремих ланок із вказівкою зв'язків між ними.

Ця схема, по суті, являє собою графічне зображення системи рівнянь, що описують поведінку елементів і пристроїв САК.

Структурна схема може також розглядатися як схема проходження і перетворення сигналів у САК. Тому її іноді ще називають алгоритмічною схемою.

Структурну схему САК будують по рівняннях в операторній формі для окремих елементів. Побудову її доцільно почати з елемента порівняння, для чого в лівій частині схеми стрілками відображається сигнал задаючого впливу й сигнал зворотного зв'язку, прикладений з іншим знаком. Ця обставина підкреслюється затемненням відповідного сектора в зображенні елемента порівняння.

Далі зображується структурна схема кожного елемента з урахуванням діючих впливів.

3.6. Передаточну функцію системи по каналу завдання $W(s)$ визначити, користуючись правилом: передаточна функція між будь-якими величинами схеми дорівнює дробу, в якому чисельник є добутком передаточних функцій елементів, включених між точками дії вхідної і вихідної величин, а знаменник – збільшений на одиницю передаточній функції розімкнутого контуру.

3.7. Однією з найважливіших характеристик автоматичної системи керування є стійкість. Цим поняттям характеризується працездатність системи. Система, що не володіє стійкістю, не здатна виконувати функції керування і має нульову або навіть негативну ефективність (тобто система шкідлива).

Стійкість автоматичної системи - це властивість системи повертатися у вихідний стан рівноваги після припинення дії, яка вивела систему з цього стану.

Найпоширенішим в інженерній практиці є критерій стійкості Гурвіца. Стосовно до завдань теорії керування критерій Гурвіца можна сформулювати так: система, описувана характеристичним рівнянням

$$a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_n = 0$$

стійка, якщо при $a_0 > 0$ позитивні всі визначники Гурвіца $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_n$.

Ці визначники складають за такими правилами:

- 1) по головній діагоналі виписують всі коефіцієнти від a_1 до a_n в порядку зростання індексу;
- 2) доповнюють стовпці визначника нагору від діагоналі коефіцієнтами з послідовно зростаючими, а вниз – з послідовно збутними індексами;
- 3) на місце коефіцієнтів, індекси яких більші n і менші 0, ставлять нулі.

Значення передаточного коефіцієнта напівпровідникового підсилювача k_{HP} , при якому САК ще стійка, визначається шляхом розкриття визначників Гурвіца.

3.8. Частотні характеристики описують передаточні властивості САК в режимі сталих гармонійних коливань, викликаних зовнішнім гармонійним впливом. Дослідження частотних властивостей САК значно спрощується, якщо використати частотні характеристики, побудовані в логарифмічному масштабі. Такі характеристики називаються логарифмічними частотними характеристиками (ЛЧХ).

Навести графік залежності $L(\omega) = 20 \lg A(\omega)$, побудований у логарифмічному масштабі частот, який називається логарифмічною амплітудною частотною характеристикою (ЛАЧХ).

Навести графік залежності фазової частотної функції $\varphi(\omega)$ від логарифма частоти $\lg \omega$, який називається логарифмічною фазовою частотною характеристикою ЛФЧХ.

Тут $A(\omega) = |W(j\omega)|$, $\varphi(\omega) = \text{Arg } W(j\omega)$, $W(j\omega)$ - частотна передаточна функція $W(j\omega)$ (частковий випадок $W(s)$ при $s = j\omega$).

3.9. Розрахунок перехідної характеристики САК слід виконати за допомогою відомих програмних пакетів для інженерних розрахунків, наприклад пакетів MathCAD чи MATLAB. Привести відповідні алгоритми розрахунку.

3.10. У висновках про виконану роботу дати характеристику стійкості САК та навести числові характеристики її якості.

4. Приклад виконання контрольної роботи

Серед споживачів електричної енергії на промислових підприємствах поширені різні системи автоматичного керування. До таких споживачів відноситься і система “генератор-двигун”, призначена для стабілізації швидкості обертання привідного електродвигуна. Принципова схема системи наведена на рис.2.

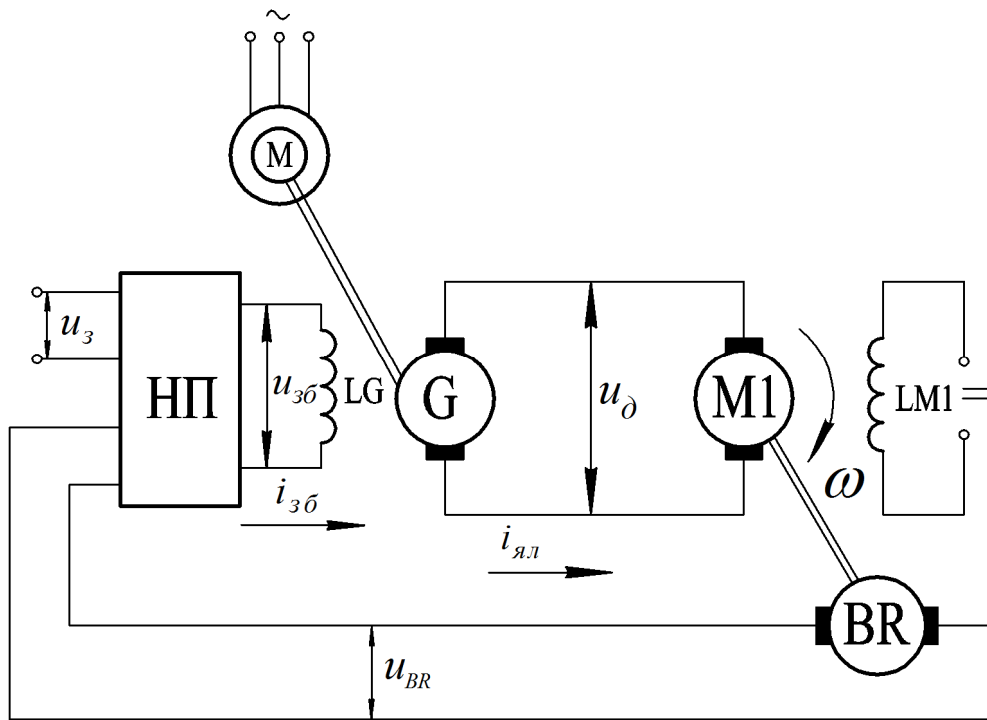


Рис. 2 - Принципова схема системи

Позначення у схемі: *НП* – напівпровідниковий підсилювач; *G* – генератор постійного струму; *M1* – керований електродвигун постійного струму; *BR* – тахогенератор; *LG*, *LM1* – обмотки збудження, відповідно *G* і *M1*; *M* – асинхронний привідний двигун з короткозамкненим ротором; $i_{3б}$ – струм збудження; $u_{3б}$ – напруга збудження; $i_{ял}$ – струм якірного ланцюга системи генератор-двигун; ω – кругова частота обертання валу двигуна; u_{∂} – напруга на вихідних клеммах генератора; u_z – напруга сигналу завдання; u_{BR} – вихідна напруга тахогенератора.

Взаємозв'язок функціонування системи розглянемо для випадку довільного відхилення швидкості ω в більшу сторону щодо заданого значення. Це відхилення викличе збільшення сигналу зворотного зв'язку u_{BR} на виході тахогенератора. Тому сигнал неузгодженості $\Delta u = u_z - u_{BR}$ на вході підсилювача зменшиться. Це приведе до зменшення напруги збудження генератора $u_{3б}$, і відповідно, до зменшення вироблюваної напруги u_{∂} . Двигун зреагує на це зменшенням швидкості ω .

Чисельні значення параметрів елементів схеми наведені в табл. 2.

Таблиця 2 - Вихідні дані

Параметри генератора			Параметри електродвигуна				$k_{BR},$ cB
$L_{зг}, Гн$	$R_{зг},$ $Ом$	$\alpha,$ $град$	$L_{яд},$ $Гн$	$R_{яд},$ $Ом$	$J,$ $кгм^2$	$c,$ $Нм / А$	
37,7	27,32	92	0,028	0,29	1,3	0,6	0,0003

Розрахунок наявної САК почнемо зі складання її функціональної схеми, під якою розуміється умовне графічне зображення, що характеризує функції, які виконують окремі елементи системи і зв'язки між цими елементами.

Ця схема наведена на рис.3.

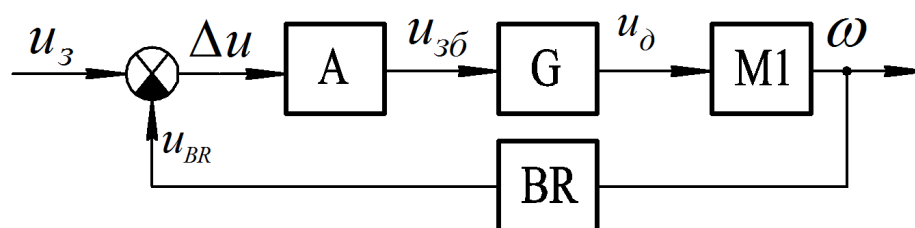


Рис. 3

Далі для елементів функціональної схеми складемо відповідні математичні моделі. Розглянемо генератор по каналу: $u_{зб}$ - вхід; $u_д$ - вихід.

Скориставшись даними літературних джерел, фізику процесів у генераторі представимо системою рівнянь:

- рівнянням електричної рівноваги ланцюга збудження (закон Кірхгофа)

$$u_{зб} = R_{зг.г} i_{зб} + L_{зг.г} \frac{di_{зб}}{dt};$$

- рівнянням електричної рівноваги генератора

$$e_z = u_д + R_{яг} i_{яг} + L_{яг} \frac{di_{яг}}{dt};$$

- рівнянням характеристики холостого ходу генератора

$$e_z = f(i_{зб}).$$

Прийmemo допущення про те, що $R_{яг} \approx 0$ і $L_{яг} \approx 0$, тобто $u_д \approx e_z$ (зневажимо втратами напруги в якорній обмотці генератора).

Введемо нові змінні: $u_{3\phi} = u_{3\phi,0} + \Delta u_{3\phi}$ і $i_{3\phi} = i_{3\phi,0} + \Delta i_{3\phi}$, де $u_{3\phi,0}$ та $i_{3\phi,0}$ - значення відповідних змінних у точці лінеаризації. Тоді

$$u_{3\phi,0} + \Delta u_{3\phi} = R_{3\phi,2} i_{3\phi,0} + R_{3\phi,2} \Delta i_{3\phi} + L_{3\phi,2} \frac{d\Delta i_{3\phi}}{dt}. \quad (1)$$

Віднявши з рівняння (1) рівняння рівноваги $u_{3\phi,0} = R_{3\phi,2} i_{3\phi,0}$, одержимо наступне рівняння у відхиленнях:

$$\Delta u_{3\phi} = R_{3\phi,2} \Delta i_{3\phi} + L_{3\phi,2} \frac{d\Delta i_{3\phi}}{dt}. \quad (2)$$

Далі зробимо лінеаризацію характеристики холостого ходу генератора на околицях точки рівноваги $[i_{3\phi,0}, e_{2,0}]$:

$$\Delta e_2 = \left. \frac{de_2}{di_{3\phi}} \right|_0 \Delta i_{3\phi} = \beta \Delta i_{3\phi}, \quad (3)$$

де $\beta = tg \alpha$.

Підставивши $\Delta i_{3\phi}$ з (3) в (2), одержимо:

$$\Delta u_{3\phi} = \frac{R_{3\phi,2}}{\beta} \Delta e_2 + \frac{L_{3\phi,2}}{\beta} \frac{d\Delta e_2}{dt},$$

або у стандартній формі урахувавши, що ми прийняли $u_\partial \approx e_2$:

$$T_2 \frac{d\Delta u_\partial}{dt} + \Delta u_\partial = k_2 \Delta u_{3\phi}, \quad (4)$$

де $T_2 = \frac{L_{3\phi,2}}{R_{3\phi,2}}$ - постійна часу; $k_2 = \frac{\beta}{R_{3\phi,2}}$ - передаточний коефіцієнт генератора.

Скориставшись вихідними даними з табл. 1 $L_{32} = 37,7$ Гн; $R_{32} = 27,32$ Ом; $\beta = 92$, одержуємо: $T_2 = 37,7/27,32 = 1,38$ с; $k_2 = 92/27,32 = 3,37$.

Відповідно до функціональної схеми рівняння двигуна складемо по каналу: u_∂ - вхід; ω - вихід.

Для цього елемента фізику процесів можемо описати системою рівнянь:

- рівнянням електричної рівноваги двигуна

$$u_\partial = e_\partial + R_{я\partial} i_{ял} + L_{я\partial} \frac{di_{ял}}{dt} \quad (5)$$

- рівнянням руху приводу

$$u_{\partial} = e_{\partial} + i_{ял} + J \frac{d\omega}{dt} = M_{\partial} - M_o. \quad (6)$$

Тут: $M_{\partial} = k\Phi i_{ял} = |\Phi = const| = ci_{ял}$ - обертальний момент, що розвиває двигун на валу; M_o - момент опору навантаження, приведений до валу двигуна.

Рівняння (6) перепишемо у вигляді:

$$J \frac{d\omega}{dt} = ci_{ял} + ci_o, \text{ де } i_o = \frac{M_o}{c}.$$

Звідки

$$i_{ял} = \frac{J}{c} \frac{d\omega}{dt} + i_o \quad \text{і} \quad \frac{di_{ял}}{dt} = \frac{J}{c} \frac{d^2\omega}{dt^2} + \frac{di_o}{dt}$$

Підставимо два останніх співвідношення в рівняння (5) з урахуванням того, що $e_{\partial} = k\Phi\omega = c\omega$:

$$u_{\partial} = c\omega + \frac{JR_{я\partial}}{c} \frac{d\omega}{dt} + R_{я\partial} i_o + \frac{JL_{я\partial}}{c} \frac{d^2\omega}{dt^2} + L_{я\partial} \frac{di_o}{dt}.$$

Приведемо отримане рівняння до стандартного вигляду

$$\frac{JL_{я\partial}}{c^2} \frac{d^2\omega}{dt^2} + \frac{JR_{я\partial}}{c^2} \frac{d\omega}{dt} + \omega = \frac{1}{c} u_{\partial} - \frac{R_{я\partial}}{c} \left(\frac{L_{я\partial}}{R_{я\partial}} \frac{di_o}{dt} + i_o \right).$$

Введемо позначення:

$$\frac{JL_{я\partial}}{c^2} = T_m - \text{електромеханічна постійна часу};$$

$$\frac{L_{я\partial}}{R_{я\partial}} = T_{\partial} - \text{електромагнітна постійна часу};$$

$$\frac{1}{c} = k_{\partial u} - \text{передаточний коефіцієнт двигуна по напрузі};$$

$$\frac{R_{я\partial}}{c} = k_{\partial i} - \text{передаточний коефіцієнт двигуна по струму}.$$

Тоді остаточно можемо записати:

$$T_{\partial} T_m \frac{d^2\omega}{dt^2} + T_m \frac{d\omega}{dt} + \omega = k_{\partial u} u_{\partial} - k_{\partial i} \left(T_{\partial} \frac{di_o}{dt} + i_o \right),$$

або у відхиленнях

$$T_3 T_m \frac{d^2 \Delta \omega}{dt^2} + T_m \frac{d \Delta \omega}{dt} + \Delta \omega = k_{ou} \Delta u_o - k_{oi} \left(T_3 \frac{d \Delta i_o}{dt} + \Delta i_o \right). \quad (7)$$

Таким чином, електродвигун можна представити математичною моделлю, що має два входи: u_o і i_o .

Скориставшись вихідними даними з табл. 1 $J = 1,3 \text{ кгм}^2$; $R_{яo} = 0,29 \text{ Ом}$; $L_{яo} = 0,028 \text{ Гн}$; $c = 0,6 \text{ Нм/А}$, одержуємо: $T_m = 1,3 \cdot 0,29 / (0,6)^2 = 1,05 \text{ с}$; $T_3 = 0,028 / 0,29 = 0,10 \text{ с}$; $k_{ou} = 1 / 0,6 = 1,67 \text{ А/Нм}$; $k_{oi} = 0,29 / 0,6 = 0,48 \text{ Ом} \cdot \text{А/Нм}$.

Рівняння напівпровідникового підсилювача по каналу Δu - вхід, u_{3o} - вихід запишемо у вигляді

$$u_{3o} = k_{HP} \Delta u,$$

де k_{HP} - передаточний коефіцієнт.

У відхиленнях це рівняння має схожий вигляд:

$$\Delta u_{3o} = k_{HP} \Delta(\Delta u). \quad (8)$$

Рівняння тахогенератора по каналу ω - вхід, u_{BR} - вихід, зневажаючи динамікою процесів у ньому, запишемо у вигляді

$$u_{BR} = k_{BR} \omega,$$

або у відхиленнях

$$\Delta u_{BR} = k_{BR} \Delta \omega. \quad (9)$$

де $k_{BR} = 0,0003 \text{ Вс}$ - передаточний коефіцієнт.

Рівняння замикання контуру у відхиленнях в нашому випадку запишемо як

$$\Delta(\Delta u) = \Delta u_3 - \Delta u_{BR}. \quad (10)$$

Надалі умовимося знак Δ у рівняннях елементів не ставити, вважаючи всі змінні і їхні похідні малими відхиленнями від заданих значень. Тоді систему рівнянь САК можна подати в наступному вигляді

$$\left. \begin{aligned} T_z \frac{du_\partial}{dt} + u_\partial &= k_z u_{3\partial}; \\ T_3 T_m \frac{d^2 \omega}{dt^2} + T_m \frac{d\omega}{dt} + \omega &= k_{\partial u} u_\partial - k_{\partial i} \left(T_3 \frac{di_o}{dt} + i_o \right); \\ u_{3\partial} &= k_{\text{НП}} (\Delta u); \\ u_{BR} &= k_{BR} \omega; \\ \Delta u &= u_3 - u_{BR}. \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Для визначення передаточних функцій елементів системи використовуємо інтегральне перетворення Лапласа (L-перетворення) рівнянь цих елементів (11) при нульових початкових умовах

$$F(s) = L\{f(t)\} = \int_0^\infty f(t) e^{-st} dt.$$

Одержимо наступну систему алгебраїчних рівнянь

$$\left. \begin{aligned} T_z s U_\partial(s) + U_\partial(s) &= k_z U_{3\partial}(s); \\ T_3 T_m s^2 \Omega(s) + T_m s \Omega(s) + \Omega(s) &= k_{\partial u} U_\partial(s) - k_{\partial i} (T_3 s I_o(s) + I_o(s)); \\ U_{3\partial}(s) &= k_{\text{НП}} (\Delta U(s)); \\ U_{BR}(s) &= k_{BR} \Omega(s); \\ \Delta U(s) &= U_3(s) - U_{BR}(s). \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

Передаточною функцією елемента САК за визначенням називається відношення його вихідної величини до вхідної, перетворених за Лапласом при нульових початкових умовах. Тоді, скориставшись співвідношеннями (12), після перетворень одержимо:

$$\left. \begin{aligned} W_z(s) &= \frac{U_\partial(s)}{U_{3\partial}(s)} = \frac{k_z}{T_z s + 1}; \\ W_{\partial u}(s) &= \frac{U_\partial(s)}{\Omega^*(s)} = \frac{k_{\partial u}}{T_3 T_m s^2 + T_m s + 1}; \\ W_{\partial i}(s) &= \frac{I_o(s)}{\Omega^{**}(s)} = -\frac{k_{\partial i} (T_3 s + 1)}{T_3 T_m s^2 + T_m s + 1}; \\ W_{\text{НП}}(s) &= \frac{U_{3\partial}(s)}{\Delta U(s)} = k_{\text{НП}}; \\ W_{BR}(s) &= \frac{U_{BR}(s)}{\Omega(s)} = k_{BR}. \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

Скориставшись знайденими передаточними функціями елементів, структурну схему САК подамо у вигляді, наведеному на рис. 4.

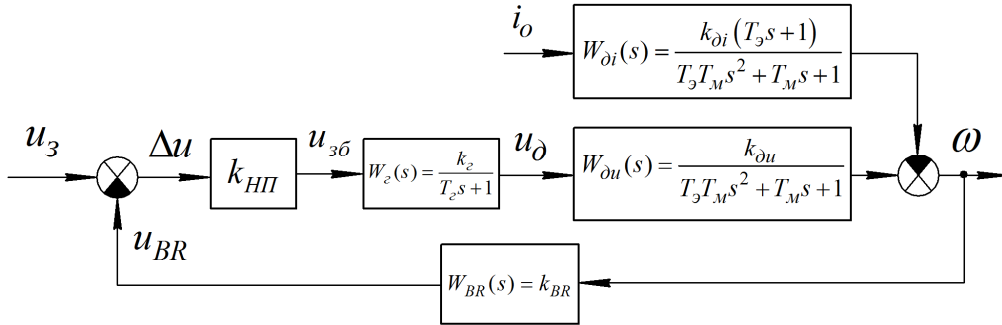


Рис.4 - Структурна схема системи

Скориставшись останньою схемою, знайдемо передаточну функцію системи по каналу дії завдання

$$W_{\omega, u_3}(s) = \frac{\Omega(s)}{U_3(s)} = \frac{W_{HП}(s) \cdot W_z(s) \cdot W_{ou}(s)}{1 + W_{HП}(s) \cdot W_z(s) \cdot W_{ou}(s)} =$$

$$= \frac{k_{HП} \cdot k_z \cdot k_{ou}}{T_z T_3 T_M s^3 + T_M (T_z + T_3) s^2 + (T_z + T_M) s + (1 + k_{HП} \cdot k_z \cdot k_{ou} \cdot k_{BR})} \cdot (14)$$

Звідси знайдемо характеристичне рівняння системи

$$T_z T_3 T_M p^3 + T_M (T_z + T_3) p^2 + (T_z + T_M) p + (1 + k_{HП} \cdot k_z \cdot k_{ou} \cdot k_{BR}) = 0 \quad (18)$$

Значення передаточного коефіцієнта напівпровідникового підсилювача $k_{HП}$ визначимо, скориставшись алгебраїчним критерієм стійкості Гурвіца.

Для цього складемо головний визначник нашої системи:

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} T_M (T_z + T_3) & (1 + k_{HП} \cdot k_z \cdot k_{ou} \cdot k_{BR}) & 0 \\ T_z T_3 T_M & (T_z + T_M) & 0 \\ 0 & T_M (T_z + T_3) & (1 + k_{HП} \cdot k_z \cdot k_{ou} \cdot k_{BR}) \end{vmatrix} \cdot (15)$$

Звідси можна одержати визначник Гурвіца 2-го порядку і зажадати, щоб він був більшим нуля

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} T_M (T_z + T_3) & (1 + k_{HП} \cdot k_z \cdot k_{ou} \cdot k_{BR}) \\ T_z T_3 T_M & (T_z + T_M) \end{vmatrix} = T_M (T_z + T_3) \cdot (T_z + T_M) - (1 + k_{HП} \cdot k_z \cdot k_{ou} \cdot k_{BR}) \cdot T_z T_3 T_M > 0 \quad (16)$$

З нерівності (16) остаточно маємо

$$k_{\text{НП}} < \frac{T_M(T_z + T_9) \cdot (T_z + T_M)}{T_z T_9 T_M \cdot k_z \cdot k_{ou} \cdot k_{BR}} \cdot \frac{1}{k_z \cdot k_{ou} \cdot k_{BR}}. \quad (17)$$

Підставивши в (17) значення параметрів, одержимо

$$k_{\text{НП}} < 15381.$$

Таким чином, проектувана система автоматичного керування при заданих вихідних параметрах генератора, електродвигуна і тахогенератора буде стійко працювати за умови, що коефіцієнт передачі напівпровідникового підсилювача знаходиться в діапазоні

$$0 < k_{\text{НП}} < 15381.$$

Для одержання логарифмічних частотних характеристик САК скористаємося програмою MATLAB. Результати розрахунку наведені на рис. 5.

```
>> W=tf([42281.36],[0.14 1.55 2.43 13.98])
>> bode (W)
```

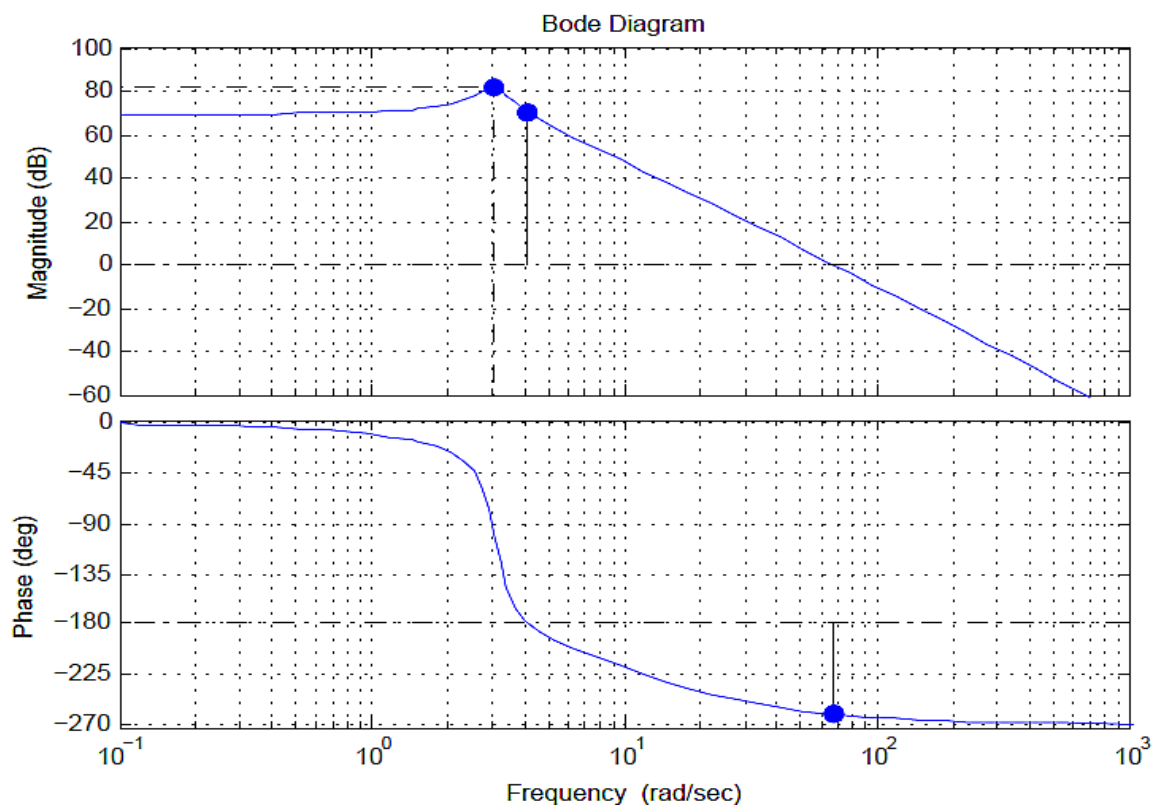
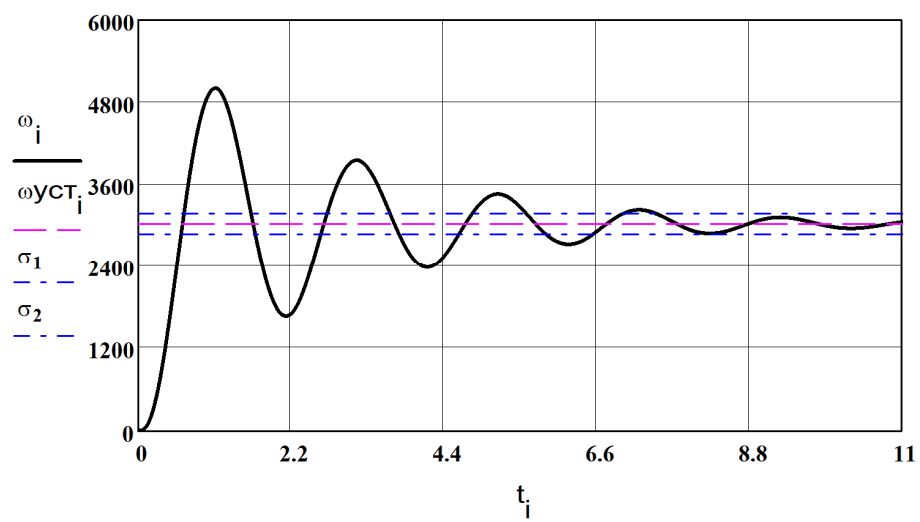


Рис. 5 – ЛАЧХ и ЛФЧХ системы

Розрахунок перехідної характеристики по каналу сигналу завдання зробимо засобами програми MathCAD. Алгоритм програми наведений на рис. 6, а результати розрахунку - на рис. 7.

$$\begin{array}{l}
 \text{ORIGIN} := 1 \\
 a_1 = 0.14 \quad a_2 = 1.55 \quad a_3 = 2.43 \quad a_4 = 13.98 \quad K_{пц} = 4.228 \times 10^4 \\
 \boxed{tcч := 12} \quad \boxed{NT := 10000} \\
 \text{Given} \\
 a_1 \cdot \omega'''(t) + a_2 \cdot \omega''(t) + a_3 \cdot \omega'(t) + a_4 \cdot \omega(t) = K_{пц} \\
 \omega(0) = 0 \quad \omega'(0) = 0 \quad \omega''(0) = 0 \\
 \omega := \text{Odesolve}(t, tcч, 1000) \quad \omega_{уст}(t) := \frac{K_{пц}}{a_4} \\
 i := 2 \dots NT \quad t_1 := 0 \quad t_i := t_{i-1} + \frac{tcч}{NT - 1} \\
 \omega_i := \omega(t_i) \quad \omega_{уст_i} := \omega_{уст}(t_i) \\
 \sigma_1 := \omega_{уст_2} + 0.05 \cdot \omega_{уст_2} \quad \sigma_2 := \omega_{уст_2} - 0.05 \cdot \omega_{уст_2} \\
 h := \left| \begin{array}{l} h_1 \leftarrow 0 \\ h_2 \leftarrow 0 \\ i \leftarrow 1 \\ \text{while } \omega_{i+1} \geq \omega_i \\ \quad \left| \begin{array}{l} h_1 \leftarrow \omega_{i+1} \\ h_2 \leftarrow t_{i+1} \\ i \leftarrow i + 1 \end{array} \right. \\ h \end{array} \right. \\
 \boxed{\eta := \frac{(h_1 - \omega_{уст_2}) \cdot 100}{\omega_{уст_2}}} \quad \boxed{\omega_{max} := h_1} \quad \boxed{t_{max} := h_2} \\
 tp := \left| \begin{array}{l} tp \leftarrow 0 \\ i \leftarrow NT \\ \text{while } tp = 0 \\ \quad \left| \begin{array}{l} tp \leftarrow t_{i-1} \text{ if } \omega_{i-1} > \sigma_1 \\ tp \leftarrow t_{i-1} \text{ if } \omega_{i-1} < \sigma_2 \\ i \leftarrow i - 1 \end{array} \right. \\ tp \end{array} \right.
 \end{array}$$

Рис.6 – Алгоритм розрахунку перехідної характеристики



$$\omega_{\max} = 5.003 \times 10^3 \quad \text{с}^{-1}$$

$$\eta = 65.427 \quad \%$$

$$t_{\max} = 1.115 \quad \text{с}$$

$$t_p = 7.464 \quad \text{с}$$

Рис. 7 – Перехідна характеристика

Висновки

1. Система є стійкою і має властивості фільтра високих частот.

1. Якість системи характеризується перерегулюванням $\sigma = 65,43 \%$ і часом регулювання $t_p = 7,46 \text{ с}$.

Список літератури

1. Бесекерский В.А. Теория систем автоматического управления / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов. М.: “Профессия”, 2004. – 747 с.
2. Власов К.П. Теория автоматического управления. – Х.: Изд-во “Гуманитарный центр”, 2007. – 526 с.
3. Абраменко І.Г., Абраменко Д.І. Конспект лекцій з курсу “Теорія автоматичного керування”, - Х.: ХНАМГ, 2009. – 182 с..

Зміст

1. Завдання на контрольну роботу.....	4
2. Перелік питань, що підлягають розгляду	6
3. Методичні вказівки по виконанню роботи.....	7
4. Приклад виконання контрольної роботи	10
Список літератури	21

Навчальне видання

Абраменко Іван Григорович

Методичні вказівки до виконання контрольної роботи з курсу “Теорія автоматичного керування” (для студентів 3 і 4 курсів заочної форми навчання напрямку підготовки 6.050701 – «Електротехніка та електротехнології» ((0906) – «Електротехніка») спеціальності “Електротехнічні системи електроспоживання”)

Відповідальний за випуск: *П.П. Рожков*

Редактор: *М.З. Аляб'єв*

Комп'ютерне верстання: *Ю.П. Степась*

План 2009, поз. 294 М

Підп. до друку 25.01.2010
Друк на ризографі.
Зам. №

Формат 60x84 1/16
Ум. друк. арк. 0,9
Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:
Харківська національна академія міського господарства,
вул. Революції, 12, Харків, 61002
Електронна адреса: rectorat@ksame.kharkov.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК №731 від 19.12.2001

